

**М. И. РАЗУМИХИН, Б. Д. ШИЛЬМЕЙСТЕР, С. В. САПАРОВСКИЙ,  
И. Н. СОРОКИН**

## **НОВЫЙ СПОСОБ ИЗГИБА ПРОФИЛЕЙ С РАСТЯЖЕНИЕМ**

В настоящее время для изготовления криволинейных деталей каркаса из профилей используется процесс изгиба с растяжением на гибочно-растяжных станках типа ПГР. Основным недостатком процесса является отклонение профиля от заданного контура вызываемое пружинением.

Главная причина этого явления в неравномерной степени деформации материала по длине детали. В процессе гибки между профилем и пуансоном возникают силы внешнего трения, величина которых переменна по рабочему контуру. Максимальной величины они достигают в середине контура, минимальной — на концах. В силу этого на вершине детали степень деформации имеет минимальное значение. Неравномерность степени деформаций профиля приводит к неравномерности остаточных напряжений, что значительно искажает геометрию детали. Советскими учеными И. Ф. Пархоменко, А. Ф. Ахмеровым, М. Н. Горбуновым, Ю. Б. Дроботом и др. исследованы основные способы процессов изгиба с растяжением при различных сочетаниях приложения внешних нагрузок.

На практике для деформирования применяются в основном три варианта сложного нагружения.

РИ — растяжение с последующим изгибом;

ИР — изгиб с последующим растяжением;

РИР — растяжение, затем изгиб с последующим дополнительным растяжением (калибровкой).

Однако ни одна из этих схем не свободна от указанного недостатка. Учет пружинения при изготовлении гибочных пуансонов

очень сложен и распространения не получил. В силу этого после обработки профиля на весьма производительных и совершенных прессах приходится применять трудоемкую правку, снижающую качество готовых деталей.

За последнее время в практику обработки металлов давлением внедряются новые технологические процессы деформирования металлов с использованием вибрационного нагружения [3, 4].

Коренным отличием вибрационного способа деформирования от обычных является чередование нагрузки с разгрузкой и деформация с «отдыхом». Объект на какое-то мгновение периодически разгружается от прикладываемых сил и как бы «отдыхает». В моменты «отдыха» объект продолжает деформироваться по инерции, хотя эта деформация выражается микрообъемами. Течение нельзя остановить сразу после достижения определенного напряжения. Чтобы прервать процесс течения, необходимо определенное время. В продолжение этого времени металл еще продолжает течь, таким образом создаются условия для повышения пластичности деформируемого металла и снижения контактного трения. Это повлечет за собой повышение равномерности пластической деформации и напряжений в металле, а следовательно, уменьшение деформирующих усилий.

Вопрос о физической сущности эффекта, вызываемого вибрационным нагружением в пластически деформируемом металле, далеко не решен, однако на основании работ советских ученых (М. Я. Карнова, Ю. П. Согришина, В. С. Ивановой, А. А. Бочвар и др.) можно сделать вывод о том, что эффект этот заключается в уменьшении потребного деформирующего усилия и улучшении пластических возможностей металла. Можно предположить, что в условиях вибрационного нагружения пластическая деформация сосредоточивается на значительно большем количестве микрообъемов, чем при приложении статических нагрузок; что вибрационные нагрузки приводят к образованию более широких и коротких полос скольжения и сдвиг происходит при напряжениях более низких, чем статический предел упругости. Это и может обеспечить снижение деформирующего усилия, уменьшение упрочнения и большую равномерность напряжений.

На основании изучения указанных выше работ авторами статьи был предложен, осуществлен и экспериментально исследован новый метод изгиба профилей с растяжением, для чего создана новая вибрационная установка и проведена модернизация одного из гибочно-растяжных прессов (ПГР-7).

Создание и внедрение этого способа вызывалось острой производственной необходимостью, так как совершенствование конструкций изделий и увеличение их размеров привело к расширению номенклатуры и увеличению сечений применяемых профилей. А в настоящее время на изделиях для каркасных деталей применяются профили сечением до  $2000 \div 4000 \text{ мм}^2$  с толщиной стенок 20—30 мм и длиной 8—12 м. Повысились требования к точности контуров,

которой трудно добиться путем ручной доводки сложных профилей. В силу этого было очень важно получить снижение усилия прессы при деформировании и повышение точности контуров. Применение данного способа привело к созданию нового дополнительного вида сложного нагружения РИР и В — растяжение—изгиб — растяжение (калибровка и вибрация).

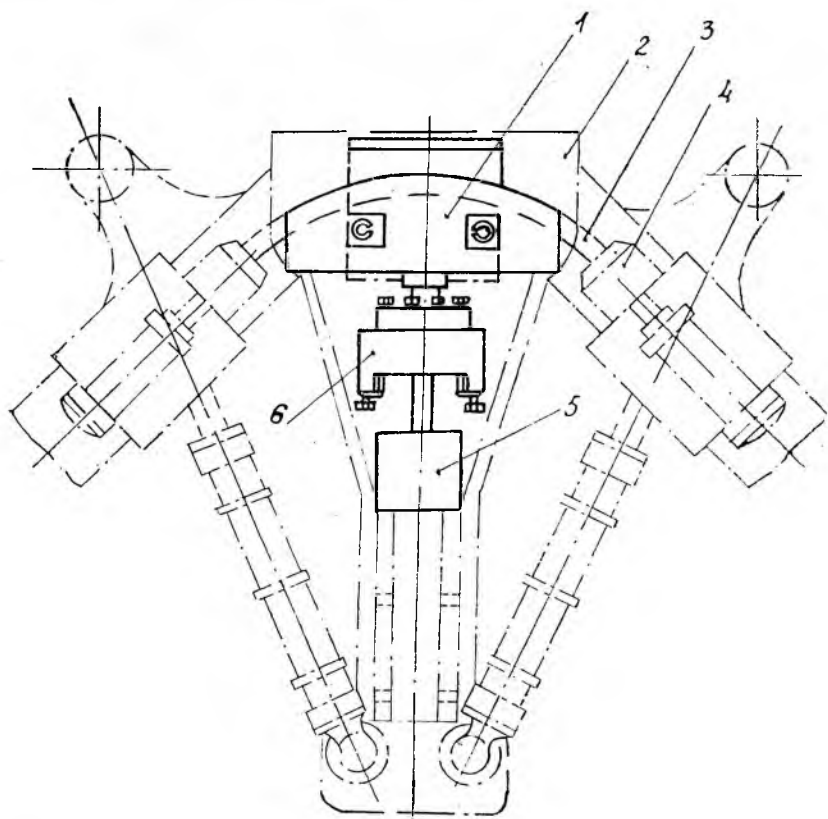


Рис. 1.

Сущность нового способа заключается в следующем (рис. 1). Профильная заготовка 3 усилиями растяжных цилиндров прессы 4 обтягивается по пуансону 1, установленному на столе прессы 2. На конечной стадии пластического деформирования в течение некоторого времени (10÷30 сек) создают с помощью гидровибратора 5 через силовой гидроцилиндр 6 возвратно-поступательное движение пуансона, в результате чего периодически ослабляется контакт между пуансоном и заготовкой. При этом, благодаря изменению схемы действия сил трения, степень деформации и остаточные напряжения выравниваются по длине профиля, что позво-

жительно влияет на точность контура детали. Вибрационное нагружение применяется в процессе деформирования как на первом технологическом переходе, так и при окончательной калибровке.

### Экспериментальные исследования нового процесса

Исследованием определялись оптимальные значения частоты, амплитуды, времени действия вибраций, а также технологические возможности нового процесса.

В качестве оснастки применялись пуансоны с постоянным радиусом изгиба профилей с полкой на растяжение и полкой на посадку. Материалом для образцов служили широко применяемые профили уголкового сечения марок Д16Т пр 100—10; 100—12 и В95Т-100—19. Деформированное состояние материала изучалось с помощью рисок, нанесенных на заготовку перед ее калибровкой путем измерения расстояния между ними после деформирования (рис. 2).

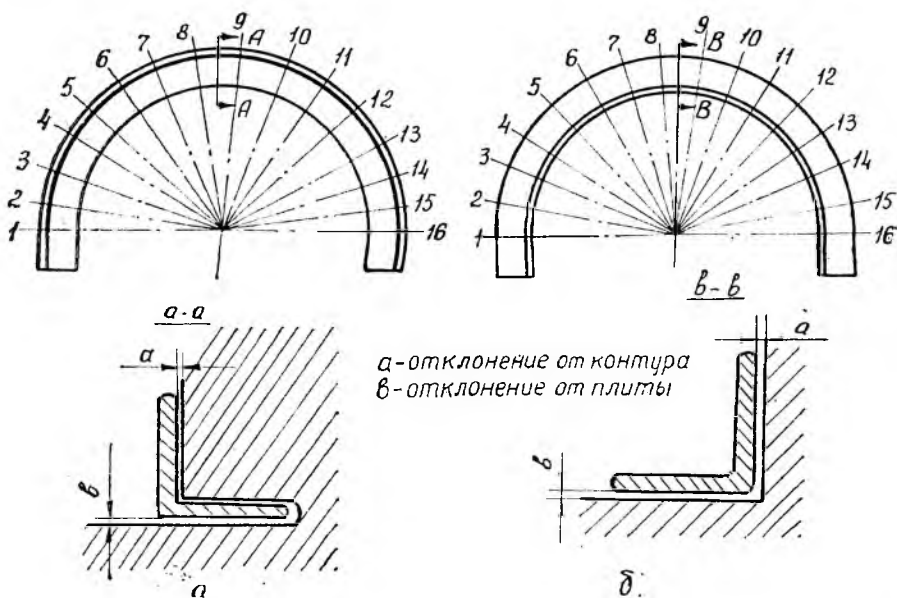


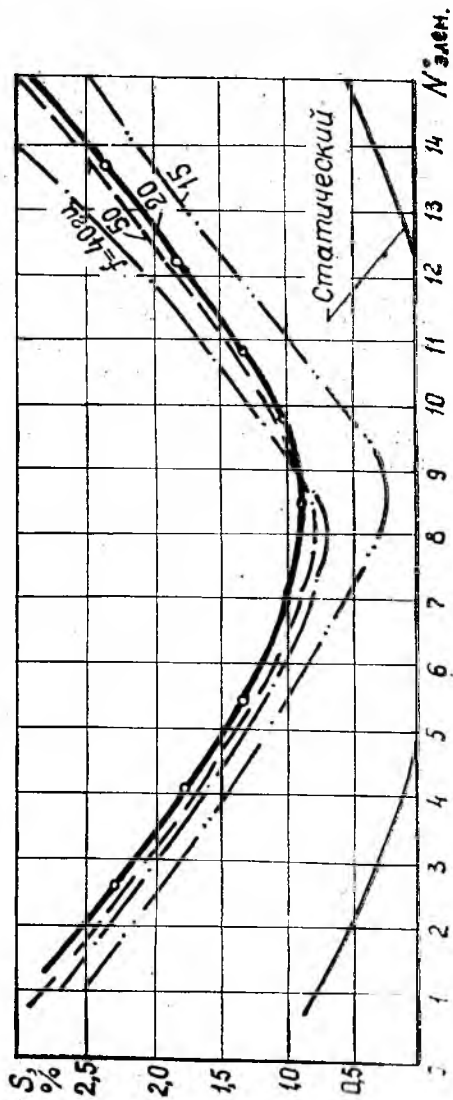
Рис. 2.

Для определения оптимальной частоты вибрации эксперименты проводились на образцах из профилей марки Д16Т пр 100—10 уголкового сечения в отожженном состоянии. Длина заготовок близка к производственной (2200÷3000 мм). Рабочие частоты ( $f=15; 20; 40$  и  $50$  гц) выбирались из конструктивных возможностей вибрационной установки. Каждый эксперимент проводился

Распределение деформаций по длине профиля при различных частотах обтяжки  
(полка профиля на растяжение)

Материал Д16Т Пр100—10 (30×30×2) Р = 18 — const

Частота гц	Деформация в %															Пружи- нные, мм	
	№ элемента																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16
15	2,3	2,3	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7	0,2	0,2	0,7	1,0	1,5	1,8	2,3	2,9	2,9	41
20	3,4	2,5	2,1	1,8	1,2	1,2	1,0	0,9	0,9	1,0	1,3	1,8	2,1	2,3	3,3	3,4	30
40	2,7	2,3	1,9	1,8	1,3	1,0	0,6	0,7	1,0	1,3	1,8	2,7	2,2	3,0	3,4	3,4	36
50	3,0	2,8	2,0	1,6	1,4	1,0	0,8	0,8	0,9	1,2	1,4	1,9	2,1	2,4	3,0	3,1	33
статич.	0,8	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,3	0,4	0,7	48



на трех образцах при постоянном усилии растяжения ( $P = \text{const}$ ).

По результатам испытаний построены графики изменения степени деформации по длине образцов для различных частот (рис. 3). Анализируя результаты испытаний, можно сделать следующие выводы:

1. Степень деформации при вибрационном нагружении значительно выше, чем при статическом процессе.

2. Оптимальной частотой вибрации для данной схемы нагружения, при которой достигнута максимальная степень деформации и минимальное пружинение, можно считать  $f = 20$  гц.

Влияние вибрационного нагружения на распределение деформаций по длине профиля определялась на образцах из прессованных профилей марки Д16Т пр 100—10. Сущность данного эксперимента заключалась в следующем: были изготовлены две партии образцов, одна путем статического нагружения, другая — вибрационным нагружением. При этом в одних и тех же сечениях на концах профилей в обоих случаях степень деформации достигалась 6%. По результатам испытаний построены графики распределения деформаций по длине профиля при различных способах нагружения (рис. 4, 1 — статическое; 2 — вибрационное нагружение).

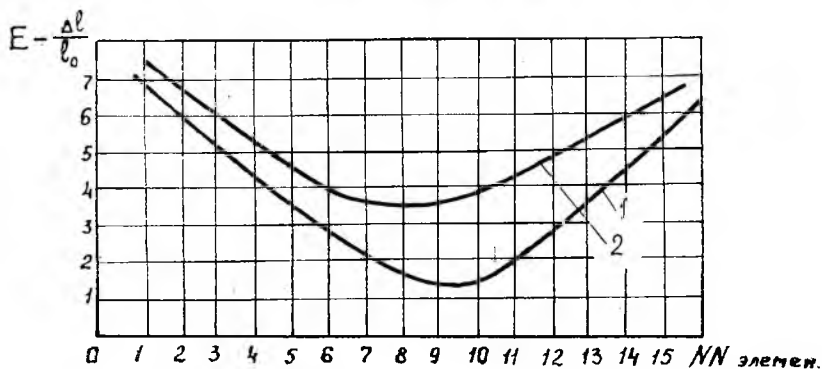
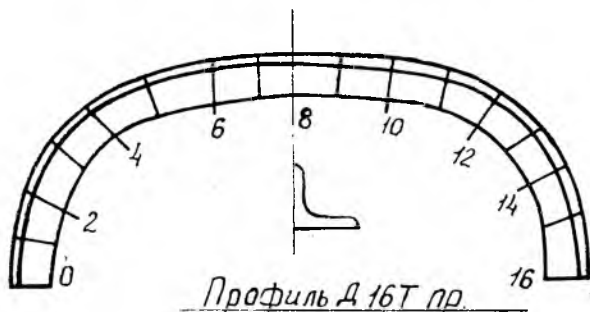


Рис. 4.

Анализ результатов показывает, что вибрационное нагружение повышает равномерность деформаций по длине профиля, а это приводит к повышению точности формообразования.

Исследование технологического процесса изготовления профильных деталей при различных способах вибрационного нагружения осуществлялось тремя основными вариантами:

а) свежезакаленные профильные заготовки подвергались изгибу с растяжением по пуансону и при калибровке прилагалась вибрация;

б) отожженные заготовки предварительно растягивались и изгибались по пуансону без вибрации, затем в свежезакаленном состоянии калибровались при одновременном действии вибрации;

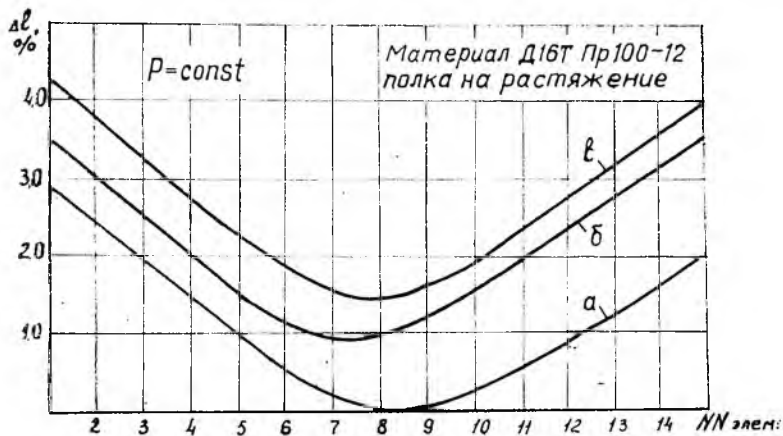


Рис. 5

в) отожженные заготовки предварительно растягивались и изгибались по пуансону, в конце изгиба применялась вибрация, затем в свежезакаленном состоянии производилась калибровка с вибрационным нагружением.

Испытания проводились при постоянном усилии изгиба и растяжения (рис. 5). Анализ результатов показывает следующее:

1) способ приложения вибрационного нагружения влияет на степень деформации профильных заготовок;

2) применение вибрационного нагружения при деформировании профильных заготовок в конце изгиба и при калибровке увеличивает деформацию и уменьшает пружинение, поэтому такой вариант можно считать оптимальным (см. протокол испытаний, табл. 1).

Таким образом, по результатам экспериментального исследования, а также по результатам опытно-промышленной проверки новый способ изгиба профилей с растяжением можно рекомендовать к внедрению в серийное производство.

Марка ма- териала	Сечение	Режим	Пружинные, мм	Номера элементов											Примечание					
				относительное удлинение в %																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Л16Т П100-12 (попка на растяжен.)	40×40×2	Изгиб. закал. проф. и послед. калибр. с виб- рацией $P_1 = 18$ атм $P_p = 35$ атм.	20	2,9	2,4	1,9	1,9	0,9	0,2	0,1	0	0	0,3	0,5	0,7	1,4	1,4	2,3	см. рис. 5	
		Изгиб без вибр. и ка- либр. с вибр. $P_2 = 18$ атм. $P_p = 35$ атм.	6	3,5	3,0	2,6	1,9	1,2	1,0	0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,7	2,4	2,4	2,7	2,9	2,8
		Изгиб с вибр. и ка- либр. с вибр. $P_2 = 18$ атм. $P_p = 35$ атм.	2	4,3	3,8	3,4	2,4	2,4	2,0	1,5	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	2,4	2,5	3,2	3,2	3,9
Л16 П100-10 (попка на посылку)	30×30×2	Изгиб. закал. проф. калибр. с вибр. $P_2 = 10$ $P_p = 20$ атм	8	6,1	5,0	4,3	4,2	2,7	2,3	2,0	2,1	2,8	3,5	3,9	4,3	4,9	6,2			
		Изгиб. без вибр. ка- либр. с вибр. $P_2 =$ $= 10$ атм $P_p = 20$ атм	19	6,7	5,5	5,2	4,5	3,9	3,6	3,0	3,3	3,2	4,2	4,4	4,4	5,0	6,2			
		Изгиб. без вибр. ка- либр. с вибр. $P_2 = 10$ $P_p = 20$ атм	3	7,6	6,6	5,4	5,0	4,9	3,7	3,3	4,0	4,3	4,9	5,0	6,3	6,4	6,4			



## ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Бочвар. Металловедение. Металлургиздат, 1956.
  2. В. С. Иванов. Механизм пластической деформации при действии циклических нагрузок. Металловедение и термообработка, № 4, Машгиз, 1960.
  3. И. Н. Сорокин, С. В. Сапаровский, Е. П. Смеляков, Б. Д. Шильмейстер. Некоторые вопросы деформирования листовых металлов методом обтяжки с вибрацией. «Кузнечноштамповочное производство», № 4, 1966.
  4. В. П. Северденко и др. Ультразвуковая обработка металлов. Минск, 1966.
-